

DYNAMISCHE BIEGEPRÜFUNG UND  
ERMITTLUNG DER HAFTZUGFESTIGKEIT  
AN STAHLBETONSTREIFEN MIT  
SPRITZBETONAUFLAGE

Teil 2

Prof. Dr.-Ing. F.S. Rostásy  
Dipl.-Ing. J. Günther

Oktober 1989

BIBLIOTHEK  
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig  
Beethovenstraße 52  
D-3300 Braunschweig

Gefördert von der Deutschen Bundesbahn

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Vorbemerkungen	1
2. Zielsetzung der Versuche	1
3. Versuchskörper	2
4. Versuchsdurchführung	2
4.1 Biegeversuche	2
4.1.1 Vorbereitung	2
4.1.2 Durchführung der Biegeversuche	3
4.2 Zugversuche	4
4.2.1 Vorbereitung	4
4.2.2 Durchführung der Zugversuche	4
5. Ergebnisse der Baustoffprüfungen	5
6. Ergebnisse der Biegeversuche	5
7. Zentrische Zugfestigkeiten der Bohrkerne aus dem Verbundsystem unter statischer und dynamischer Belastung	6
7.1 Festigkeitswerte von Platte 7	6
7.1.1 Statische Haftzugfestigkeit	6
7.1.2 Dynamische Haftzugfestigkeit	7
7.2 Festigkeitswerte von Platte 8	7
7.2.1 Statische Haftzugfestigkeit	7
7.2.2 Dynamische Haftzugfestigkeit	8
8. Diskussion der Ergebnisse	8
8.1 Statische Haftzugfestigkeiten	9
8.2 Dynamische Haftzugfestigkeiten	9
8.3 Restzugfestigkeit	10

	Seite
9. Zusammenfassung	10
10. Literaturverzeichnis	13
<u>Anlagen</u>	14
Tabellen 1 bis 14	15
Bilder 1 bis 8	22

## 1. VORBEMERKUNGEN

An Tunneln der Deutschen Bundesbahn, im Zuge der Neubaustrecke Hannover-Würzburg, Abschnitt Nord, wurde die planmäßige Betonüberdeckung der Tunnelinnenschale in einigen Bereichen unterschritten. Das Mängelbeseitigungskonzept sieht u.a. vor, durch Aufspritzen von Stahlfaserbeton diese Unterdeckung auszugleichen.

Die Auswirkung der die Tunnelschale beanspruchenden Druck- und vor allem Sogkräfte auf diese ausgebesserten Stellen wurde in Untersuchungen ermittelt, mit denen die DB das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz beauftragt hatte. Dieser Forschungsauftrag /1/ wurde im November 1988 abgeschlossen und wird im folgenden als Versuchsabschnitt 1 bezeichnet. Es wurden in erster Linie Haftzugprüfungen an dem Stahlfaserspritzbeton unter dynamischer Beanspruchung vorgenommen, die letztlich zu einer Aussage über die Bruchhäufigkeit in Abhängigkeit von der Beanspruchungsdauer führten.

Dabei blieben vorerst die Einflüsse einer Langzeit-Freilagerung, einer Lastspielzahl von 2 Mio. und einer Beanspruchung durch Biegung und Rand Schubspannungen ungeklärt. Letztere wird im vorliegenden Versuchsabschnitt 2 untersucht.

## 2. ZIELSETZUNG DER VERSUCHE

Die Zielsetzung dieser Versuche folgt den Untersuchungsergebnissen aus dem Versuchsabschnitt 1 /1/. Diese konstatieren statische Haftzugfestigkeiten in Höhe von 2,2 bis 2,3 N/mm<sup>2</sup>. Aus den dynamischen Versuchen läßt sich ableiten, daß bei einer Lastspielzahl von 10<sup>6</sup> die ertragbare Schwingbreite  $\Delta\sigma \approx 1,0 \text{ N/mm}^2$  bei einer Versagenswahrscheinlichkeit von 10 % beträgt.

Diesen Aussagen lagen Versuche mit zentrischer Zugbeanspruchung zugrunde. Darüber hinaus treten jedoch an der Tunnellaibung Störungen infolge Kräfteinleitung an den Rändern der Reparaturflächen auf, die sich mit den Lasten, z.B. aus Gebirgsdruck und den Druck- und Sogkräften, die durch die Höchstgeschwindigkeitszüge verursacht werden, überlagern.

Diese komplexe Beanspruchung wird durch Biegeschwellversuche an Plattenstreifen simuliert. Daran anschließend werden aus dem Verbundsystem Grundbeton/Spritzbeton Bohrkerne entnommen und durch eine zentrische Zugbeanspruchung statisch und dynamisch untersucht. Diese Vorgehensweise soll klären, ob und inwieweit die Haftfuge zwischen Grundbeton und Stahlfaserbeton durch die vorhergehende Biegebeanspruchung im Vergleich zu den reinen Versuchen auf zentrische Zugbeanspruchung (s. Versuchsabschnitt 1) vorgeschädigt wird.

### 3. VERSUCHSKÖRPER

Die Herstellung der Versuchskörper (Grundbetonplatten samt Spritzbeton) erfolgte bereits im Zuge des Versuchsabschnittes 1 /1/, als solche mit Platte 7 und 8 bezeichnet.

Die Grundbetonplatten wurden am 11.12.1987 und die Stahlfaserspritzbetonschichten am 25.01.1988 hergestellt. Die Vorgehensweise ist im Bericht vom November 1988 dokumentiert. Bild 1 zeigt den Schal- und Bewehrungsplan der Grundkörper. Details sind dem Bericht November 1988 zu entnehmen /1/.

Seit den Spritzbetonarbeiten, die in /1/ beschrieben sind, wurden die Platten 7 und 8 in der Versuchshalle gelagert.

### 4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Versuchsdurchführung bestand aus den Biegeversuchen an Plattenstreifen und den anschließenden zentrischen Zugversuchen an Kernen.

#### 4.1 Biegeversuche

##### 4.1.1 Vorbereitung

Zwecks Durchführung der Biegeversuche wurden die Platten derart in 20 cm breite Streifen zersägt, daß je Streifen 2 Ø 10 an Tragbewehrung vorhanden war, s. Bild 2.

Bei einer Gesamtlänge von 110 cm betrug die Plattenstützweite 98 cm. Der Querschnittssprung wurde durch Einschneiden der Spritzbetonschicht über die ganze Plattenbreite 15 cm neben jedem der beiden Auflager simuliert. An diesen Stellen wurden die Verschiebungen des Stahlfaserspritzbetons gegenüber dem Grundbeton mittels induktiver Wegaufnehmer gemessen.

#### 4.1.2 Durchführung der Biegeversuche

Bild 3 zeigt den Versuchsaufbau. Durch die in Feldmitte angreifende Einzelast sollten Biege- und Biegeschubrisse erzeugt werden, die die Haftpuge kreuzen. Dann sollte durch dynamische Belastung des gerissenen Körpers eine mögliche Schädigung der Haftpuge herbeigeführt werden. Als Pilotprobe wurde der Streifen 2 der Platte 7 gewählt.

Das Aufbringen der Einzellast erfolgte stufenweise bis zur Reißlast. Der Reiß stellte sich erst bei einer hohen Biegespannung  $\approx 6,7 \text{ N/mm}^2$  ein, dann jedoch mit einer Reißbreite von 0,6 bis 0,8 mm, s. Bild 3.

Die Größe der Einzellast betrug hierbei etwa 34,80 kN. Hieraus folgernd wurden für die anschließende Schwellast die Oberlast mit 25 kN und die Unterlast mit 2,5 kN über 50 Lastwechsel gewählt. Entsprechend wurde bei den übrigen Plattenstreifen verfahren.

Neben den Reißbreiten wurden die Verschiebungen zwischen Grundbeton und Spritzbeton neben dem Querschnittssprung gemäß der in Bild 4 dargestellten Anordnung gemessen.

Die Verschiebungsmessungen in der Klebflächenachse erfolgten mittels Weggeber, wobei dessen Halterung auf dem Grundbeton und der Anschlagwinkel auf dem Spritzbeton geklebt war.

## 4.2 Zugversuche

### 4.2.1 Vorbereitung

Zur Durchführung der zentrischen Zugversuche im Anschluß an die Biegeschwellbeanspruchung wurden jedem Plattenstreifen vier Bohrkerne gemäß Bild 5 entnommen. Die Schnittreihen A und D wurden unmittelbar neben dem Querschnittssprung, die Reihen B und C neben dem Riß angeordnet.

Die Bohrkerne wiesen einen Nettodurchmesser von 7 cm auf. Ihre Entnahmestellen wurden so gewählt, daß keine Bewehrungsstäbe beim Bohren getroffen wurden. Dann erfolgte die Ablängung der Kerne durch Sägen dergestalt, daß sich eine Probenlänge von 9 cm ergab, und die Haftfuge in Probenmitte lag (Bild 6).

### 4.2.2 Durchführung der Zugversuche

Für die Durchführung der Versuche unter zentrischer Zugbeanspruchung wurden die Bohrkerne aus den Schnittreihen A und B einer statischen Belastung und diejenigen der Schnittreihen C und D einer dynamischen Belastung unterworfen.

Somit standen pro Platte zwölf Proben sowohl für die statische als auch für die dynamische Beanspruchung zur Verfügung.

In den Versuchen mit statischer Belastung wurde diese bis zum Bruch der Probe gesteigert. Aus den Ergebnissen können Mittelwert und Varianz abgeleitet werden.

Da für die Versuche mit dynamischer Belastung eine relativ geringe Probenanzahl zur Verfügung stand, wurden die Proben der Schwellzugversuche nur bei einem Belastungsniveau geprüft.

Die Ober- und Unterlast der dynamischen Haftzugversuche wurden auf Basis der Ergebnisse aus Versuchsabschnitt 1 /1/ gewählt. Bei konstanter Unterspannung von  $\sigma_u = 0,10 \text{ N/mm}^2$  wurde mit Hilfe der rechnerischen Bruchhäufig-

keiten der Platten 1 und 2 (Bilder 30 und 31 aus /1/) die Oberspannung  $\sigma_0$  mit  $2,06 \text{ N/mm}^2$  festgelegt, da dieses Niveau eine sichere Einstufung der Ergebnisse erwarten ließ.

## 5. ERGEBNISSE DER BAUSTOFFPRÜFUNGEN

Der am 11.12.87 hergestellte Grundbeton wies folgende mittlere Festigkeitswerte auf:

- Würfeldruckfestigkeit =  $70 \text{ N/mm}^2$
- zentrische Zugfestigkeit =  $3,56 \text{ N/mm}^2$
- Spaltzugfestigkeit =  $3,53 \text{ N/mm}^2$

Die Einzelwerte sind Tabelle 1 zu entnehmen. Bis zur Prüfung waren die Begleitkörper wie die Versuchsplatten gelagert.

Zur Prüfung des am 25.01.88 hergestellten Stahlfaserspritzbetons wurden aus den gespritzten Kästen Bohrkerne entnommen und sowohl auf Druck- als auch auf zentrische Zugfestigkeit mit folgenden Ergebnissen nach ca. 18 Monaten geprüft:

- Druckfestigkeit =  $100 \text{ N/mm}^2$
- zentrische Zugfestigkeit =  $3,89 \text{ N/mm}^2$

Die Einzelwerte sind Tabelle 2 zu entnehmen. Bis zur Prüfung war der Kasten wie die Versuchsplatten gelagert.

## 6. ERGEBNISSE DER BIEGEVERSUCHE

Die Ergebnisse der Biegeversuche sind in den Tabellen 3 und 4 enthalten, die Auskunft über die Rißlasten, Rißlängen und die Rißbreiten geben.

Beim Vergleich der zwölf Plattenstreifen (je sechs aus den Platten 7 und 8) muß berücksichtigt werden, daß die Solldicke des Spritzbetons von 5 cm zwar generell erreicht, jedoch auch aus Herstellungsgründen örtlich geringfügig überschritten worden ist. Die Nettobreite der Streifen betrug generell



19 cm (20 cm minus Sägeschnitt); die der Randstreifen 7.1 und 8.1 19,5 cm. Zudem ist bei diesen beiden Streifen die Breite der aufgespritzten Stahlfaserbetonsschicht wegen der Auflagerung der Platten beim Spritzen um ca. 4 cm vermindert.

Für sämtliche Proben wurden die gleichen Grenzlaster  $F_0 = 25 \text{ kN}$  und  $F_u = 2,5 \text{ kN}$  gewählt.

Die gemessenen Verschiebungen am Querschnittssprung enthalten die Tabellen 5 und 6. Hieraus ist erkennbar, daß eine Verschiebung praktisch nicht stattfindet.

## 7. ZENTRISCHE ZUGFESTIGKEIT DER BOHRKERNE AUS DEM VERBUND-SYSTEM UNTER STATISCHER UND DYNAMISCHER BELASTUNG

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Bohrkerne der Platten 7 und 8 dargestellt.

### 7.1 Festigkeitswerte von Platte 7

Die Platte 7 war überkopf mit einem Schichtaufbau von  $2 + 2 + 1 = 5 \text{ cm}$  gespritzt worden. Die Lage der Bohrkerne ergibt sich aus Bild 5.

#### 7.1.1 Statische Haftzugfestigkeit

Die statische Zugbeanspruchung erfolgte im Alter von rund 18 Monaten. Die Haftzugfestigkeit wurde neben dem Querschnittssprung (Schnittreihe A) und neben dem Riß (Schnittreihe B) geprüft. Die Einzelwerte sind den Tabellen 7 und 8 zu entnehmen. Diese führen zu bemerkenswert unterschiedlichen Ergebnissen. Während die mittleren Festigkeitswerte neben dem Querschnittssprung  $3,05 \text{ N/mm}^2$  betragen, wurden neben dem Biegeriß nur mittlere Werte von  $1,39 \text{ N/mm}^2$  erzielt.

### 7.1.2 Dynamische Haftzugfestigkeit

Es war das ursprüngliche Ziel der dynamischen Zugversuche, Brüche zwischen  $10^2$  und  $10^5$  Lastwechseln zu erzielen. Nach den Ergebnissen der statischen Haftzugversuche mußten von diesem Ziel Abstriche gemacht werden, weil für das gewählte Beanspruchungsniveau die zu erwartenden Ergebnisse entweder zu hoch oder zu niedrig waren, was folgende Ergebnisse dokumentieren:

Von den sechs Bohrkernen neben dem Querschnittssprung (Schnittreihe D) durchliefen vier Proben mit der planmäßigen Schwingbreite von  $\Delta \sigma = 1,96 \text{ N/mm}^2$  ( $\sigma_0 = 2,06 \text{ N/mm}^2 - \sigma_u = 0,10 \text{ N/mm}^2$ ) die vorgesehene Lastspielzahl von  $N = 10^5$ . Diese wurden nach Beendigung der 100 000 LW im statischen Zugversuch auf ihre Restzugfestigkeit hin geprüft. Die mittlere Festigkeit betrug  $2,80 \text{ N/mm}^2$ . Die Einzelwerte sind in Tabelle 9 enthalten. Die restlichen zwei Bohrkern konnten wegen Beschädigung bzw. Bruch beim Anfahren der Mittellast der dynamischen Beanspruchung einer derartigen Prüfung nicht unterzogen werden.

Die sechs Bohrkern der Schnittreihe C waren infolge des Risses derart geschädigt, daß eine Schwellast nicht aufgebracht werden konnte, da sie generell beim Aufbringen der Last brachen. Die ertragenen Lasten enthält Tabelle 10.

Die Ergebnisse der dynamischen Haftzugfestigkeiten sind graphisch in Bild 7 dargestellt.

### 7.2 Festigkeitswerte von Platte 8

Die Platte 8 war überkopf mit einem Schichtaufbau von  $4 + 1 = 5 \text{ cm}$  gespritzt worden. Die Lage der Bohrkern ergibt sich aus Bild 5.

#### 7.2.1 Statische Haftzugfestigkeit

Die statische Zugbeanspruchung erfolgte im Alter von rund 20 Monaten. Die Haftzugfestigkeiten wurden neben dem Querschnittssprung (Schnittreihe A) und neben dem Riß (Schnittreihe B) geprüft. Die Einzelwerte sind den Tabel-

len 11 und 12 zu entnehmen. Diese führen, wie schon bei Platte 7 festgestellt, zu gravierend unterschiedlichen Ergebnissen. Während die mittleren Festigkeitswerte neben dem Querschnittssprung  $2,62 \text{ N/mm}^2$  betragen, wurden neben dem Biegeriß nur mittlere Werte von  $0,75 \text{ N/mm}^2$  erzielt. Die Werte lagen somit erheblich unter denjenigen der Platte 7.

### 7.2.2 Dynamische Haftzugfestigkeit

Von den sechs Bohrkernen neben dem Querschnittssprung erzielten fünf Lastspielzahlen zwischen 10 und 1270. Der sechste Bohrkern brach beim Anfahren der Oberlast. Dies sind erheblich schlechtere Ergebnisse als die von Platte 7 erzielten. Die Ergebnisse enthält Tabelle 13.

Die dynamischen Versuche an den Bohrkernen neben dem Biegeriß wurden wegen der geringen statischen Haftzugfestigkeit von  $0,75 \text{ N/mm}^2$  nicht wie geplant mit der Schwingbreite von  $\Delta\sigma = 1,96 \text{ N/mm}^2$  gefahren, sondern die Vorgehensweise wurde wie folgt geändert: Sofern die Proben nicht schon beim Anfahren der Oberlast brachen, wurde zunächst die Schwingbreite von  $\Delta\sigma = 0,67 \text{ N/mm}^2$  aufgebracht. Beim Überleben der  $10^5$  LW wurde die Amplitude unter Beibehaltung der üblichen Unterspannung von  $0,10 \text{ N/mm}^2$  auf  $\Delta\sigma = 0,93 \text{ N/mm}^2$  gesteigert. Wurden auch diese  $10^5$  LW ertragen, erfolgte eine nochmalige Steigerung auf  $\Delta\sigma = 1,44 \text{ N/mm}^2$ .

Aus diesem Vorgehen resultieren die Ergebnisse von Tabelle 14. Graphisch sind die Ergebnisse in Bild 8 dargestellt.

## 8. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Im Rahmen dieses Abschnittes werden die Versuchsergebnisse der Platten 7 und 8 mit sogenannter Vorschädigung durch Biegebeanspruchung denen der vergleichbaren Platten 1 und 2, ohne Vorschädigung, aus dem ersten Versuchsabschnitt /1/ gegenübergestellt. Vergleichbar wegen des Schichtaufbaus ist die Platte 7 mit der Platte 1 und die Platte 8 mit der Platte 2.

## 8.1 Statische Haftzugfestigkeiten

Die Mittelwerte der statischen Haftzugfestigkeiten lagen bei Platte 7

- neben dem Querschnittssprung =  $3,05 \text{ N/mm}^2$
- und neben dem Biegeriß =  $1,39 \text{ N/mm}^2$
- (Vergleichswert Platte 1 =  $2,29 \text{ N/mm}^2$ ),

und bei Platte 8

- neben dem Querschnittssprung =  $2,62 \text{ N/mm}^2$
- und neben dem Biegeriß =  $0,75 \text{ N/mm}^2$
- (Vergleichswert Platte 2 =  $2,16 \text{ N/mm}^2$ ).

Es ist erkennbar, daß durch den Querschnittssprung keine Schädigung des Haftverbundes entsteht. Wegen des fortgeschrittenen Betonalters (zeitlicher Abstand zwischen den Platten 7 und 1  $\hat{=}$  14 1/2 Monate und zwischen den Platten 8 und 2  $\hat{=}$  17 Monate) ergeben sich sogar höhere Festigkeitswerte.

Im Bereich des mittigen Biegerisses treten zu dessen beiden Seiten Schubspannungssprünge und Relativverschiebungen auf, die zu einer beträchtlichen Schädigung des Haftverbundes führen.

## 8.2 Dynamische Haftzugfestigkeiten

Die bei den Werten der statischen Haftzugfestigkeit festgestellte Tendenz setzt sich bei den dynamischen Versuchen fort. Für die Proben der Platte 7 wurde als Beanspruchungsniveau ein  $\Delta\sigma$  von  $1,96 \text{ N/mm}^2$  gewählt. Von den sechs Proben neben dem Querschnittssprung gab es vier Durchläufer über  $10^5$  Lastwechsel. Eine Probe ertrug nur 5 LW, deren Versagen jedoch nicht als Dauererschwingbruch wertbar ist. Eine weitere Probe war wegen Beschädigung nicht prüfbar.

Die Proben, die neben dem Querschnittssprung entnommen worden waren, wurden durch diesen nicht beeinflusst. Dies zeigt Bild 7, das neben den Ergebnissen

der Bruchhäufigkeiten der nicht vorbelasteten Proben von Platte 1 /1/ auch die Werte der vorbelasteten Proben enthält.

Die Proben, die neben dem Biegeriß entnommen worden waren, versagten bereits während des Anfahrens der Oberlast.

Die Proben aus der Platte 8, die neben dem Querschnittssprung entnommen worden sind, ertrugen geringere Lastspielzahlen als jene von Platte 7.

Die Ergebnisse der Proben aus Platte 8 sind in Bild 8 dargestellt. Bild 8 enthält auch die rechnerischen Bruchhäufigkeiten der nicht vorbelasteten Proben aus der vergleichbaren Platte 2.

### 8.3 Restzugfestigkeit

An sämtlichen Proben, die die dynamische Prüfung als Durchläufer überstanden haben, wurde die statische Restzugfestigkeit ermittelt. Diese Prüfung konnte nur an vier Proben neben dem Querschnittssprung aus der Platte 7 durchgeführt werden. Diese erreichten mit  $2,80 \text{ N/mm}^2$  einen "normalen" Mittelwert.

## 9. ZUSAMMENFASSUNG

Die Deutsche Bundesbahn beauftragte das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz mit der Untersuchung der Haftzugfestigkeit von Stahlfaserspritzbeton-Reparaturschichten auf Tunnel-Grundbeton. Im ersten Versuchsabschnitt wurden 1988 in erster Linie Haftzugprüfungen an Verbundkörpern bestehend aus Grundbeton/Stahlfaserspritzbeton unter statischer und dynamischer Beanspruchung vorgenommen.

Im zweiten Versuchsabschnitt wurde untersucht, inwieweit eine Vorschädigung der Haftzugfestigkeit durch eine Biegebeanspruchung, die die gleichzeitig wirkenden Druck- und Sogkräfte durch die Höchstgeschwindigkeitszüge und die Lasten aus Gebirgsdruck simulieren sollte, eintritt. Außerdem sollte beurteilt werden, inwiefern sich Störungen an den Rändern der Reparaturflächen auswirken.

Für die Untersuchung standen quadratische, bewehrte Grundplatten mit Spritzbetonauflage aus dem ersten Versuchsabschnitt zur Verfügung. Aus diesen Platten wurden Plattenstreifen gesägt, die als einfache Balken mit Einzellast durch eine Biegeschwellbeanspruchung eingerissen und vorbeanspruchte wurden. Hierdurch sollte eine geraffte, hohe Vorschädigung des Haftverbunds zum einen am Querschnittssprung Grundbeton/Verbundsystem und zum anderen an einem breiten Biegeriß erzeugt werden. Im Anschluß an den Biegeschwellversuch wurden aus den o.g. Bereichen Zugproben für statische und dynamische Haftzugversuche entnommen.

Aus den Versuchen läßt sich ableiten, daß eine Störung des Haftverbundes am Querschnittssprung nicht eintritt, sofern an dieser Stelle kein Biegeriß im Gewölbe auftritt, was auch die in diesem Bereich durchgeführten Verschiebungsmessungen bestätigen. Die anschließend aus den vorbelasteten Plattenstreifen entnommenen Bohrkerne ergaben keine niedrigeren Festigkeitswerte als die Proben ohne diese Vorbeanspruchung.

Eine Rißbildung wirkt sich dagegen negativ aus. Die neben dem Biegeriß entnommenen Bohrkerne weisen bereits eine geringe statische Haftzugfestigkeit aus: 1,35 bzw. 0,75 N/mm<sup>2</sup>. Besonders deutlich wirkt sich die Vorschädigung des Haftverbunds im Rißbereich aus.

Gerade was die niedrige dynamische Haftzugfestigkeit in Rißbereichen betrifft, sind hier noch ergänzende Bemerkungen erforderlich. Die niedrige dynamische Haftzugfestigkeit ist bei diesen Versuchen auch zum großen Teil versuchsbedingt. Die hohe Biegezugfestigkeit des Verbundsystems und der niedrige Bewehrungsgrad der Plattenstreifen von rd. 0,7 % führten unter der Erstrißlast zu einer sehr großen Rißbreite (0,4 bis 0,8 mm). Dementsprechend sind auch zu beiden Seiten des Biegerisses die Verbundspannungen in der Haftfuge sicher hoch gewesen. In der Praxis sind bei bewehrten Tunnelgewölben, die durch Biegung mit Normaldruckkraft beansprucht werden, Rißbreiten dieser Größenordnung im allgemeinen nicht zu erwarten. Die Auswirkung einer etwaigen Schädigung in Form eines Risses in der Haftfuge wird durch die Dübel verhindert.

Um die Untersuchungen abschließend abzurunden, wird vorgeschlagen, an den beiden noch verbleibenden Platten 3 und 4, die seit des Spritzbetonauftrages vor nunmehr 20 Monaten im Freien lagern, den Einfluß der Langzeit-Freilagerung und die Auswirkungen einer höheren Lastspielzahl, z.B. 2 Millionen zu studieren.

## 10. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Rostásy, F.S.; Günther, J.: Statische und dynamische Haftzugfestigkeit von Stahlfaserbetonschichten. iBMB der TU Braunschweig, Nov. 1988



---

# ANLAGEN

---

	Prüfdatum	Alter	Festigkeitswerte (N/mm <sup>2</sup> ) i.M.
Würfeldruck- festigkeit (150/150/150)	18.07.89	> 19 mon.	(3/69/71) 70
zentr. Zug- festigkeit (Ø 80, h=240)	24.07.89	19,5 mon.	(6/2,96/3,92) 3,56
Spaltzug- festigkeit (Ø 150, h=300)	18.07.89	> 19 mon.	(3/3,38/3,66) 3,53

(Anzahl/min.-Wert/max.-Wert)

Tabelle 1: Festigkeitswerte des Grundbetons

	Prüfdatum	Alter	Festigkeitswerte (N/mm <sup>2</sup> ) i.M.
Druck- festigkeit (Ø 100, h=100)	18.07.89	ca. 18 mon.	(3/97/105) 100
zentr. Zug- festigkeit (Ø 70, h=90)	18.07.89	ca. 18 mon.	(6/3,75/4,19) 3,89

(Anzahl/min.-Wert/max.-Wert)

Tabelle 2: Festigkeitswerte der Bohrkerne aus den Spritzbetonkästen

	Proben Nr.					
	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6
Rißlast [kN]	32,60	34,80	36,16	35,47	35,40	33,80
Rißlänge* [cm]	12,1 12,5	nicht gemessen	13,0 14,5	14,5 15,0	13,1 13,0	12,2 11,8
Rißbreite* max [mm]	0,55 0,45	0,60 0,80	0,40 0,55	0,50 0,40	0,60 0,65	0,40 0,45
Rißbreite* vor LW [mm]	0,45 0,35	nicht gemessen	0,35 0,40	0,35 0,40	0,50 0,55	0,30 0,30
Rißbreite* nach LW [mm]	0,55 0,45	nicht gemessen	0,40 0,55	0,50 0,65	0,55 0,55	0,45 0,50

- \* 1. Zeile: Vorderseite  
2. Zeile: Rückseite

Tabelle 3: Ergebnisse der Biegezugversuche, Platte 7

	Proben Nr.					
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6
Rißlast [kN]	30,00	36,80	37,12	32,60	29,73	34,89
Rißlänge* [cm]	11,5 9,0	16,0 14,0	15,1 15,3	8,2 9,4	9,7 10,8	14,0 13,2
Rißbreite* max [mm]	0,20 0,20	0,30 0,45	0,52 0,54	0,25 0,45	0,25 0,25	0,25 0,30
Rißbreite* vor LW [mm]	0,15 0,10	nicht gemessen	0,31 0,38	0,20 0,25	0,20 0,20	0,20 0,25
Rißbreite* nach LW [mm]	0,25 0,20	0,23 0,42	0,31 0,32	0,35 0,45	0,30 0,30	0,25 0,35

- \* 1. Zeile: Vorderseite  
2. Zeile: Rückseite

Tabelle 4: Ergebnisse der Biegezugversuche, Platte 8

Verschiebung [ $\mu\text{m}$ ] bei	Proben Nr.					
	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6
Rißlast	4	28	6	4	2	1
Schwelllast* $F_u$	1 0,5	14 6	4 0	2 2	0 0,5	0 1
Schwelllast* $F_o$	3 0,5	26 14	5 2	3 4	3 1	1 2,5

- \* 1. Zeile: linker Querschnittssprung  
2. Zeile: rechter Querschnittssprung

Tabelle 5: Gemessene Verschiebungen an Platte 7

Verschiebung [ $\mu\text{m}$ ] bei	Proben Nr.					
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6
Rißlast*	4,4 1,4	1,8 1,4	2,1 1,6	3,2 1,0	2,2 2,4	1,0 1,8
Schwelllast* $F_u$	0,5 0,5	3,0 1,0	0,5 1,0	1,5 0	1,0 1,0	2,0 0,7
Schwelllast* $F_o$	3,0 1,5	3,5 1,0	1,0 2,0	3,0 1,0	1,5 2,0	2,0 1,0

- \* 1. Zeile: linker Querschnittssprung  
2. Zeile: rechter Querschnittssprung

Tabelle 6: Gemessene Verschiebungen an Platte 8

Probe Nr.	Schnittreihe	$\beta_{Hz2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Bruchart
7.1.1	A	2,81	Bruch in der Fuge
7.2.1	A	2,93	Bruch in der Fuge
7.3.1	A	3,03	Bruch in der Fuge
7.4.1	A	3,12	Bruch in der Fuge
7.5.1	A	3,30	Mischbruch
7.6.1	A	3,09	Bruch in der Fuge
		i.M. 3,05	

Tabelle 7: Zugfestigkeitswerte infolge statischer Belastung der Bohrkerne neben dem Querschnittssprung (Schnittreihe A) von Platte 7  
Prüfalter = ca. 18 Monate

Probe Nr.	Schnittreihe	$\beta_{Hz2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Bruchart
7.1.3	B	0,77	Grundbetonbruch
7.2.3	B	0,62	Grundbetonbruch
7.3.3	B	2,04	Bruch in der Fuge
7.4.3	B	1,53	Bruch in der Fuge
7.5.3	B	1,34	Bruch in der Fuge
7.6.3	B	2,06	Bruch in der Fuge
		i.M. 1,39	

Tabelle 8: Zugfestigkeitswerte infolge statischer Belastung der Bohrkerne neben dem Biegeriß (Schnittreihe B) von Platte 7  
Prüfalter = ca. 18 Monate

Probe Nr.	Schnittreihe	Statische Restfestigkeit nach $10^5$ LW (N/mm <sup>2</sup> )	Bruchart
7.1.2	D	Probe beschädigt, nicht prüfbar	
7.2.2	D	2,64	Bruch in der Fuge
7.3.2	D	2,95	Bruch in der Fuge
7.4.2	D	3,32	Grundbetonbruch
7.5.2	D	Probe hat nur 5 LW ertragen	
7.6.2	D	2,28	Bruch in der Fuge
		i.M. 2,80	

Tabelle 9: Werte der Restzugfestigkeit der Bohrkerne neben dem Querschnittssprung (Schnittreihe D) von Platte 7 nach  $10^5$  Lastwechseln

Probe Nr.	Schnittreihe	Bruchlast beim Anfahren der Oberlast (kN)	Bruchart
7.1.4	C	nicht bewertbar durchschnittene Bewehrung	Grundbetonbruch
7.2.4	C	1,80	Bruch in der Fuge
7.3.4	C	nicht prüfbar, vorher zerbrochen	Bruch in der Fuge
7.4.4	C	5,34	Grundbetonbruch
7.5.4	C	3,88	Bruch in der Fuge
7.6.4	C	7,89	Grundbetonbruch

Tabelle 10: Ergebnisse der versuchten dynamischen Beanspruchung an Bohrkerne neben dem Biegeriß (Schnittreihe C) der Platte 7

Probe Nr.	Schnittreihe	$\beta_{Hz2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Bruchart
8.1.1	A	2,43	Bruch in der Fuge
8.2.1	A	2,48	Bruch in der Fuge
8.3.1	A	2,18	Bruch in der Fuge
8.4.1	A	3,04	Bruch in der Fuge
8.5.1	A	2,32	Bruch in der Fuge
8.6.1	A	3,24	Bruch in der Fuge
		i.M. 2,62	

Tabelle 11: Zugfestigkeitswerte infolge statischer Belastung der Bohrkerne neben dem Querschnittssprung (Schnittreihe A) von Platte 8  
Prüfalter = ca. 20 Monate

Probe Nr.	Schnittreihe	$\beta_{Hz2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Bruchart
8.1.2	B	0,19	Bruch in der Fuge
8.2.2	B	0,26	Bruch in der Fuge
8.3.2	B	1,03	Bruch in der Fuge
8.4.2	B	0,80	Bruch in der Fuge
8.5.2	B	1,36	Bruch in der Fuge
8.6.2	B	0,84	Grundbetonbruch
		i.M. 0,75	

Tabelle 12: Zugfestigkeitswerte infolge statischer Belastung der Bohrkerne neben dem Biegei (Schnittreihe B) von Platte 8  
Prüfalter = ca. 20 Monate

Probe Nr.	Beim Anfahren der Oberlast gebrochen		Ertragene Lastwechsel	Bruchart
	Bruchlast [kN]	Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]		
8.1.2	-	-	10	Bruch in der Fuge*
8.2.2	-	-	20	Bruch in der Fuge
8.3.2	7,31	1,88	-	Bruch in der Fuge*
8.4.2	-	-	210	Bruch in der Fuge
8.5.2	-	-	590	Bruch in der Fuge*
8.6.2	-	-	1 270	Bruch in der Fuge

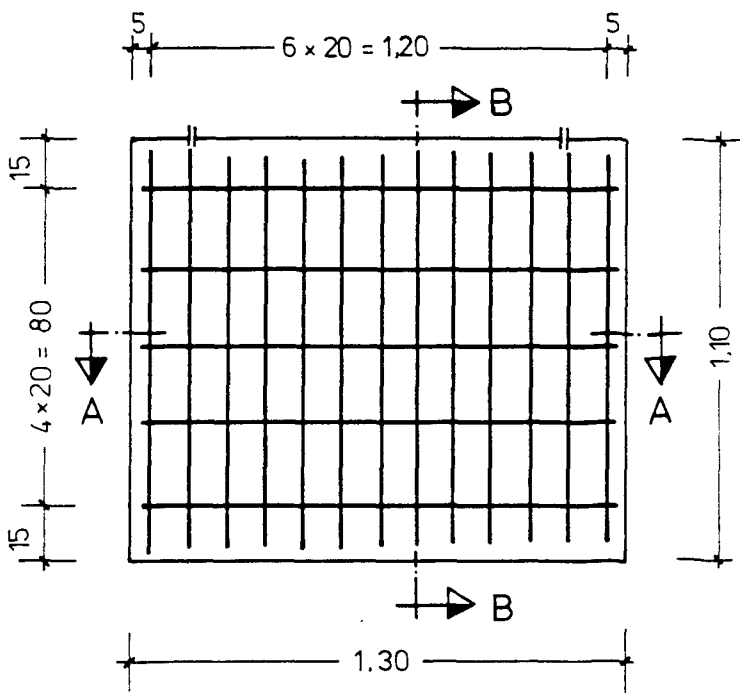
\* mit geringem Anteil Grundbetonbruch

Tabelle 13: Ergebnisse der dynamischen Beanspruchung an den Bohrkernen neben dem Querschnittsprung der Platte 8  
Schwingbreite  $\Delta\sigma = 1,96 \text{ N/mm}^2$  (2,06 - 0,10)

Probe Nr.	Beim Anfahren der Oberlast gebrochen		Ertragene Lastwechsel] bei $\Delta\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Bruchart
	Bruchlast [kN]	Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]				
			0,67	0,93	1,44	
8.1.4	1,20	0,31	-			Bruch in der Fuge
8.2.4	-	-	50	-	-	Bruch in der Fuge
8.3.4	-	-	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	8540	Bruch in der Fuge
8.4.4	2,55	0,66	-			Bruch in der Fuge
8.5.4	-	-	10 <sup>5</sup>	3940	-	Bruch in der Fuge
8.6.4	2,30	0,59	-			Bruch in der Fuge

Tabelle 14: Ergebnisse der dynamischen Beanspruchung an den Bohrkernen neben dem Biegeriß der Platte 8





Ansicht



Schnitt A-A

②  $2 \times 5 = 10 \varnothing 10; e = 20 \text{ cm}, L = 1,25 \text{ m}$

Transport -  
haken



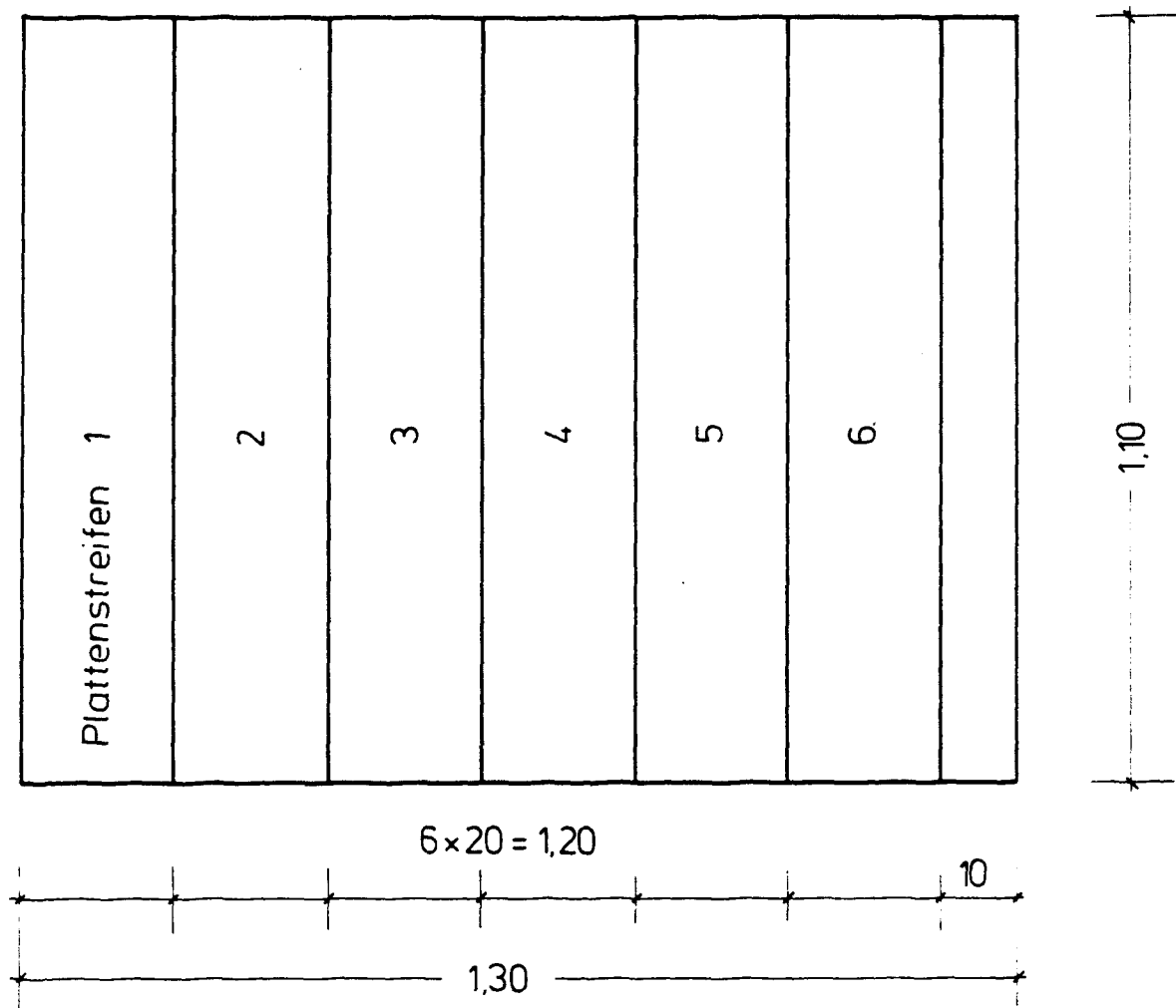
Schnitt B-B

①  $2 \times 13 = 26 \varnothing 10, e = 10 \text{ cm}, L = 1,05 \text{ m}$

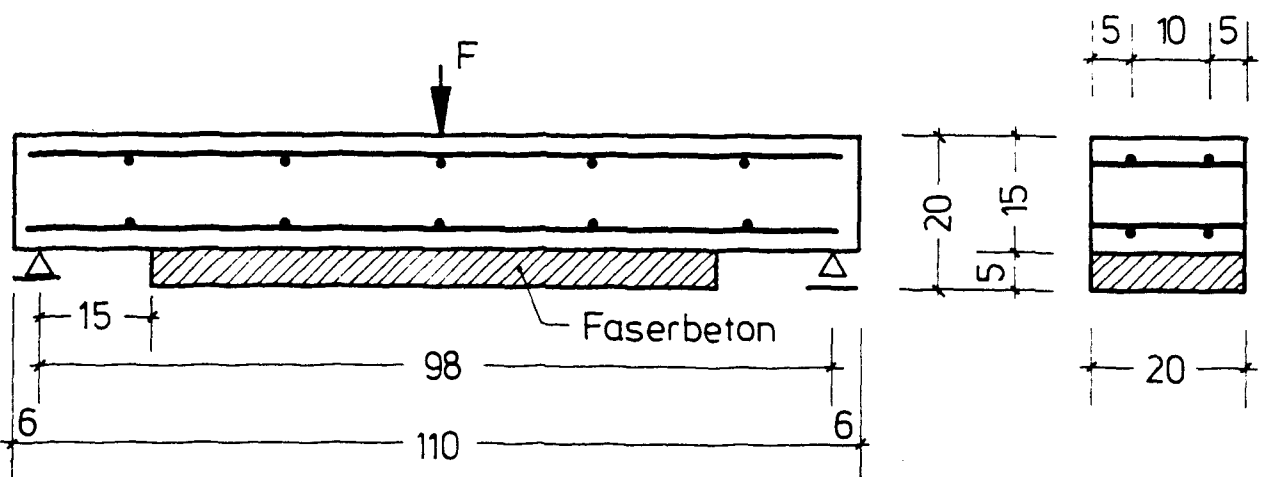
Stahlgüte IV S

Beton : B 45

Bild 1: Schal- und Bewehrungsplan des Grundbetons



Grundriß Plattenstreifen



Längsschnitt Plattenstreifen  
im Biegeversuch

Querschnitt

Bild 2: Plattenstreifen der Biegeversuche

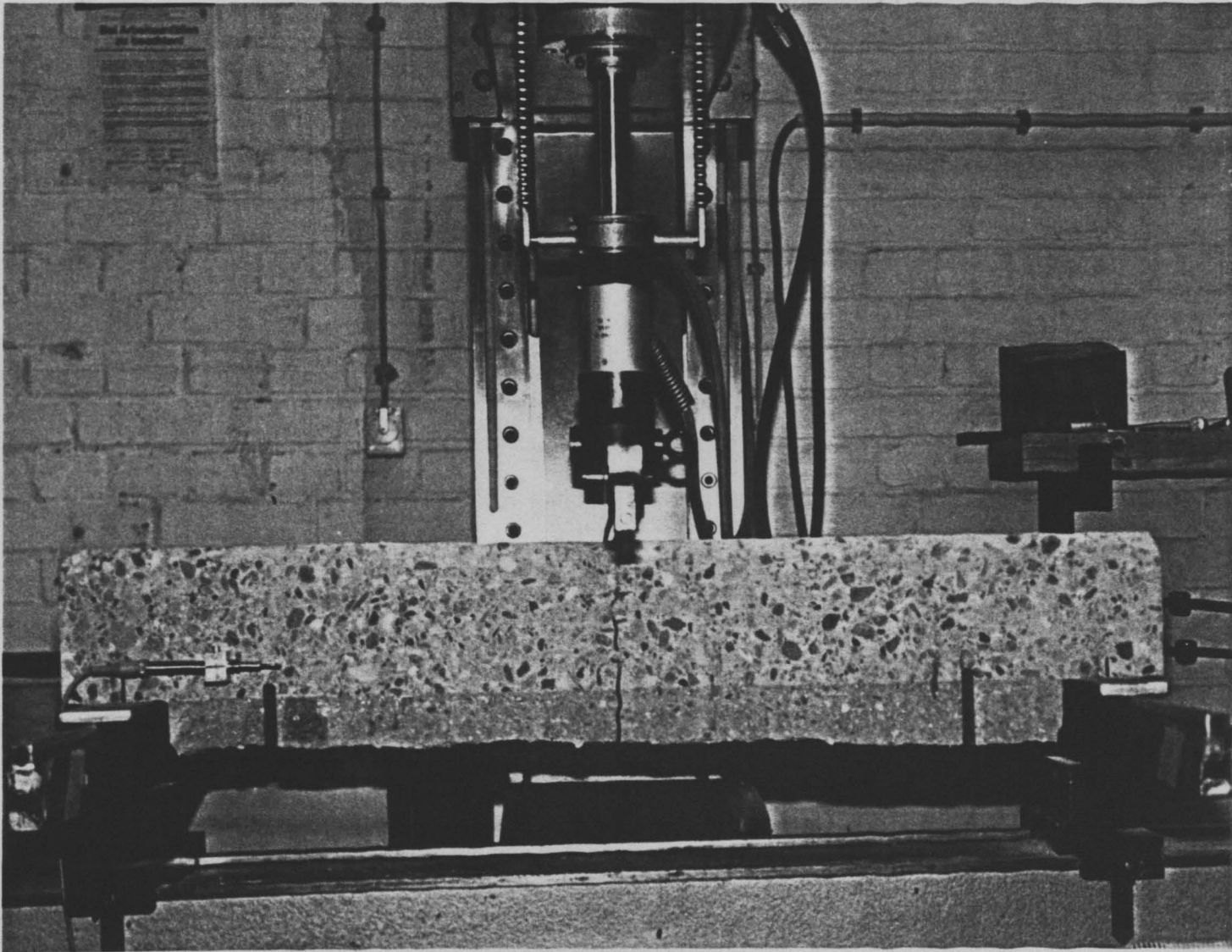


Bild 3: Versuchsaufbau und Rißbild der Biegeversuche

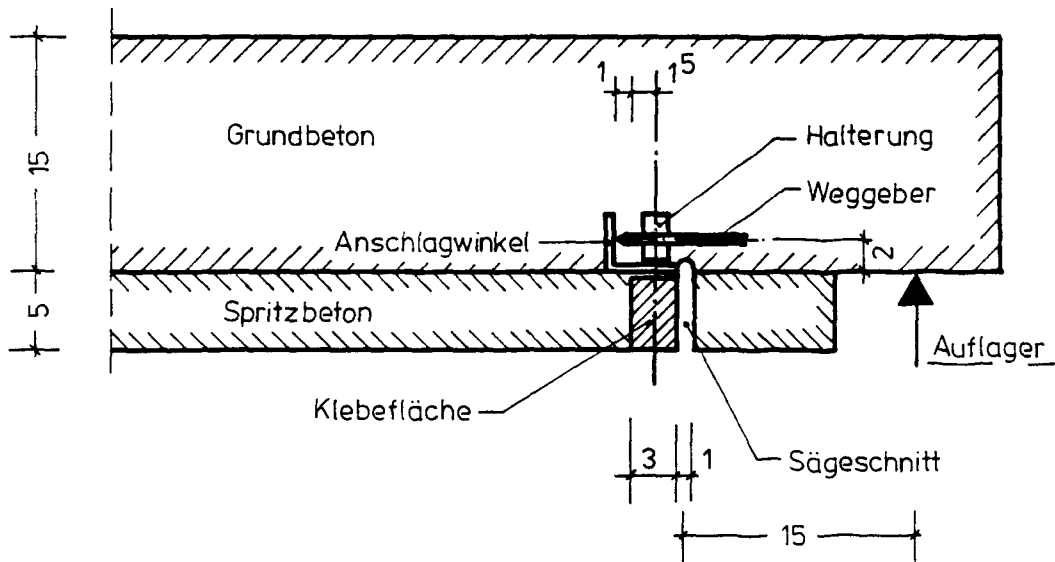


Bild 4: Messungen der Verschiebungen am Querschnittssprung

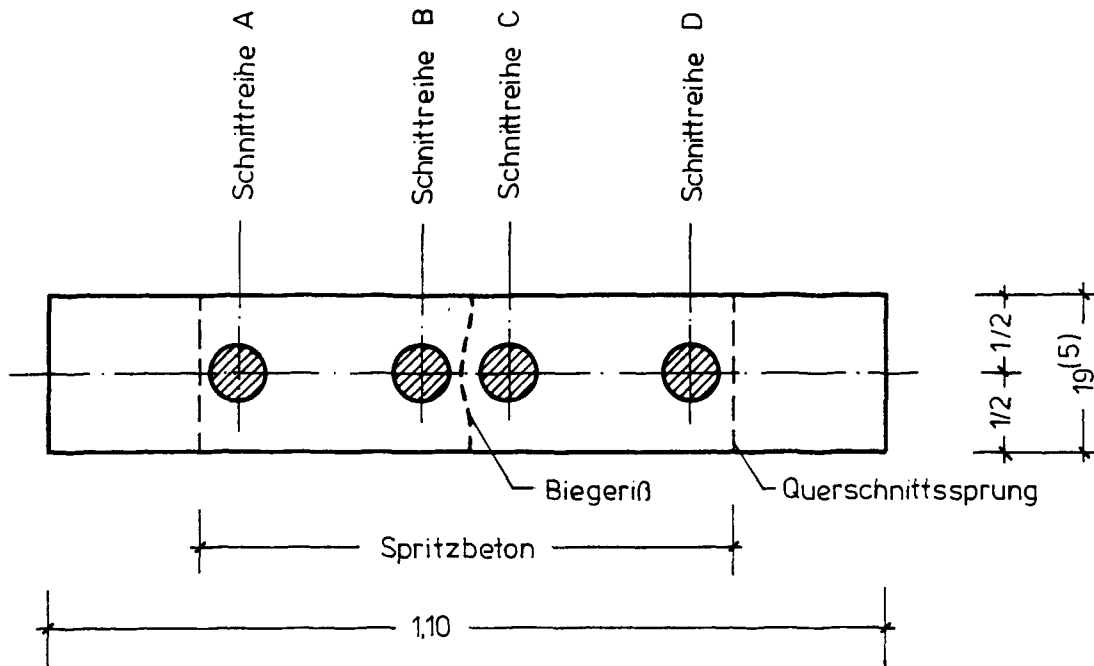


Bild 5: Bohrentnahmestellen,  $\varnothing$  70 mm netto, der Plattenstreifen (Draufsicht)

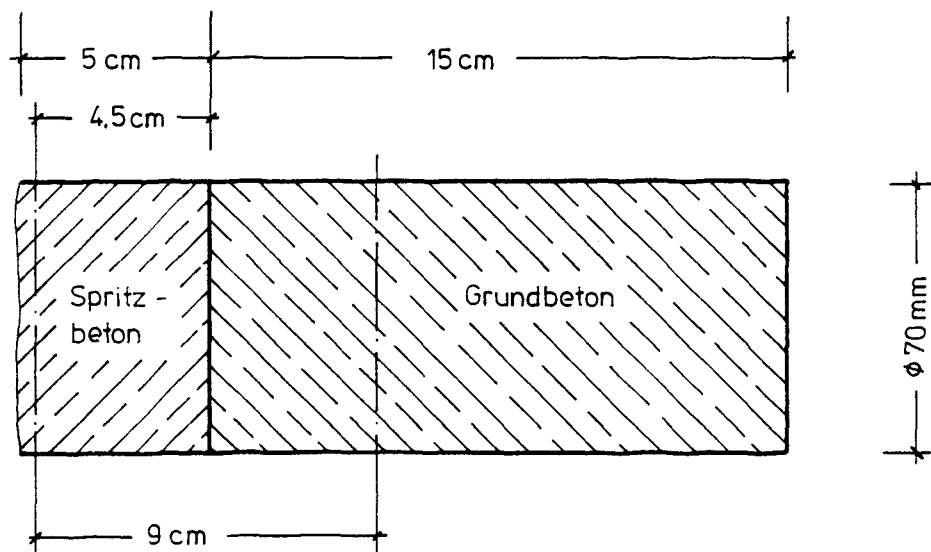


Bild 6: Anlängung der Bohrkerne für die Haftzugversuche (Ansicht)

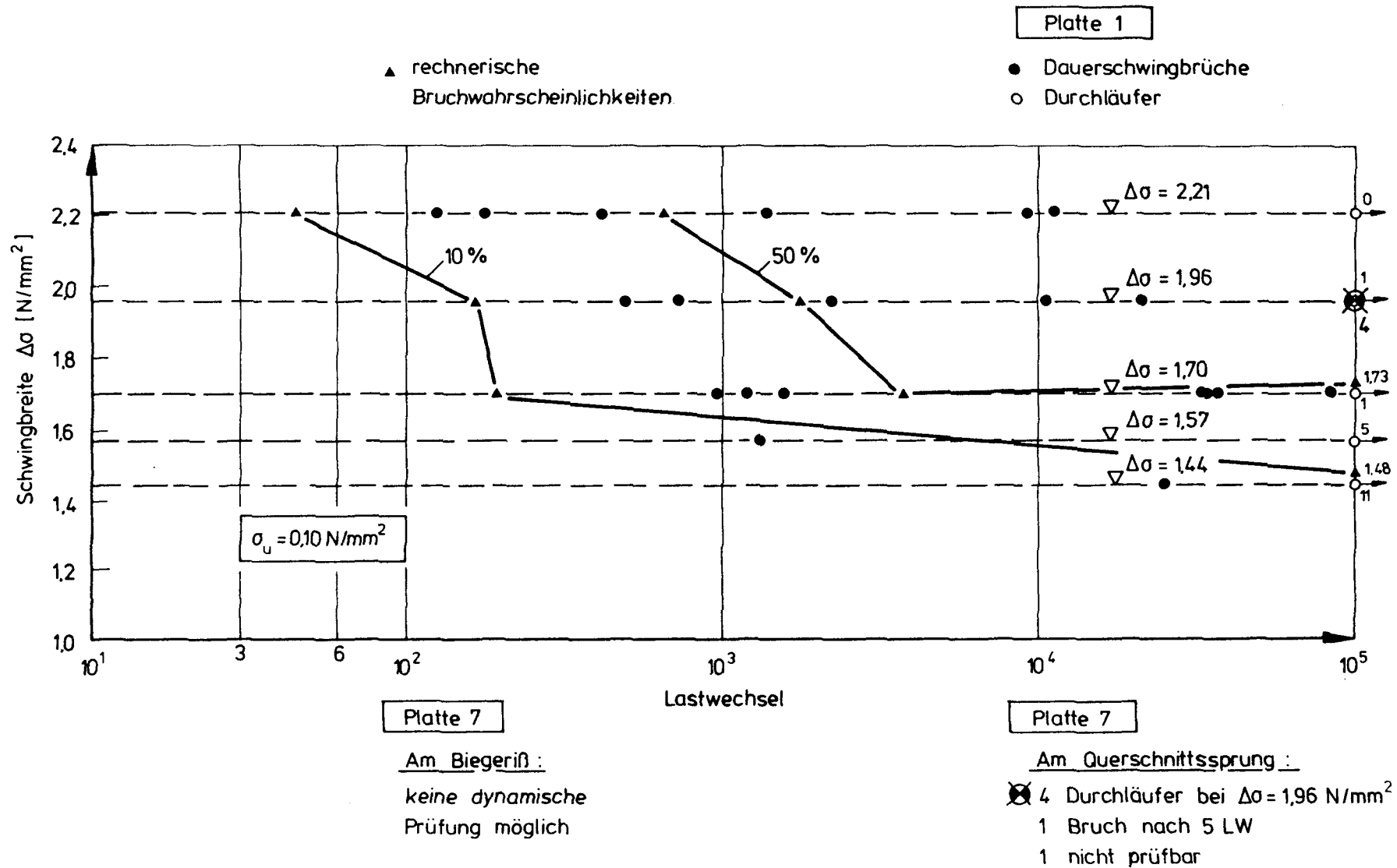


Bild 7: Einordnung der Ergebnisse von Platte 7 in die rechnerischen Bruchhäufigkeiten von Platte 1 /1/

